

Zum Mechanismus der Wärmeübertragung beim Kühlen von Metallen mit verdampfenden Flüssigkeiten

Jeschar, Rudolf

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1988 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.81-82



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

14.10.1988 in Braunschweig

Zum Mechanismus der Wärmeübertragung beim Kühlen von Metallen mit verdampfenden Flüssigkeiten

Von **Rudolf Jeschar**

Kühlprozesse mit verdampfenden Flüssigkeiten sind in allen Bereichen der metall-erzeugenden und -verarbeitenden Industrie anzutreffen und erfahren eine ständig zunehmende Bedeutung. Beispiele sind das Stranggießen von Stählen, Aluminium, Kupfer und anderen Metallen, das Tauchhärten von Stahl, Gußeisen und Leichtmetall-legierungen sowie das Oberflächenhärten von Stählen nach einer induktiven Erwärmung einer dünnen Randschicht. Als Flüssigkeiten dienen Wasser, Öle sowie Polymer-lösungen. Diese liegen als Bäder vor, in die die Werkstücke eingetaucht werden, oder sie werden mittels Düsen als Filme oder als zerstäubte Flüssigkeitsstrahlen auf die Werkstückoberflächen aufgespritzt.

Im wesentlichen kommt es bei diesen Kühlprozessen darauf an, ganz bestimmte Zeit-Temperaturverläufe, z.B. an der Oberfläche einzustellen, um Werkstoffe definierter Eigenschaften erzeugen zu können. Die Abkühlvorgänge von Festkörpern mit Wärmeabfuhr durch Strahlung und Konvektion sind im wesentlichen bekannt. Nicht hinreichend geklärt sind hingegen die physikalischen Vorgänge bei Kühlprozessen, bei denen mit verdampfenden Flüssigkeiten Wärme von einer heißen Oberfläche abgeführt wird. In der Praxis werden deshalb solche Prozesse noch weitgehend empirisch ausgelegt und optimiert. Um diese Vorgänge für die Zukunft berechenbar zu machen, werden am Institut für Energieverfahrentchnik umfangreiche theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt, worüber berichtet wurde.

Die Abkühlung mit verdampfenden Flüssigkeiten hängt weitgehend davon ab, in welcher Weise die Kühlflüssigkeit mit der heißen Metalloberfläche in Berührung kommt. Das grundsätzliche Verhalten während des Abkühlvorganges ist bereits vom Behältersieden her bekannt, wobei die vier Bereiche Wärmeübertragung durch Konvektion, durch Blasenverdampfung, durch partielle Filmverdampfung und durch stabile Filmverdampfung durchlaufen werden. Von einander getrennt werden die Blasenverdampfung und partielle Filmverdampfung durch den Burnoutpunkt und die partielle Filmverdampfung und Filmverdampfung durch den Leidenfrostpunkt. Im Unterschied zur Verdampfertechnik werden jedoch bei Kühlprozessen diese vier Bereiche in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen. Kühlvorgänge mit verdampfenden Flüssigkeiten beginnen also stets damit, daß sich zunächst ein Dampffilm auf der Oberfläche ausbildet, weshalb sich wegen der Isolierwirkung der Dampfschicht nur eine relativ niedrige Abkühlgeschwindigkeit einstellen kann. Sobald der Leidenfrostpunkt erreicht wird, platzt dieser Film, so daß jetzt die Oberfläche von Flüssigkeit benetzt wird und die Kühlgeschwindigkeit um ein Vielfaches ansteigt. Die gesamte Abkühlzeit eines Werkstückes hängt also wesentlich davon ab, bei welcher Oberflächentemperatur der

Dampffilm zerstört wird. Experimentelle Untersuchungen mit den Grundkörpern Platte, Zylinder und Kugeln zeigen nun, daß diese Vorgänge im wesentlichen von der Oberflächentemperatur, der Flüssigkeitstemperatur, der Anströmgeschwindigkeit, der Körpergröße sowie von der Art der Flüssigkeit bestimmt werden. Die einzelnen Abhängigkeiten wurden anhand zahlreicher Diagramme veranschaulicht.

Zum Verständnis dieser experimentellen Ergebnisse wurde anschließend ein mathematisches Modell vorgestellt, das den Wärmeübergangmechanismus während der Filmphase beschreibt.

Dieses Modell geht davon aus, daß die Wärme zunächst durch Wärmeleitung und Strahlung durch den Dampffilm transportiert wird. An der Phasengrenze wird dann diese Wärme teilweise durch Konvektion an die Flüssigkeit abgeführt und teilweise zur Verdampfung von Flüssigkeit verbraucht. Dabei zeigt sich, daß nur so viel Flüssigkeit verdampft, wie durch den Dampffilm selbst abströmen kann. Die abströmende Dampfmenge wird aber ihrerseits vom Auftrieb, der von der Dichtedifferenz zwischen Flüssigkeit und Dampf und von der Körperabmessung abhängt, sowie vom Strömungswiderstand des Dampffilmes bestimmt. Das sich hierbei ausbildende Strömungsprofil im Dampffilm erzeugt nun eine Schlepperwirkung, so daß sich auch in der Flüssigkeit ein entsprechendes Strömungsprofil ausbildet. Von diesem hängt dann die durch Konvektion in die Flüssigkeit abgeführte Wärme ab. Die einzelnen Teilphänomene sind also in vielfältiger Weise wechselseitig voneinander abhängig, was bisher nur theoretisch analysiert werden konnte. Entscheidend für den weiteren Fortgang dieser Untersuchungen ist nun der theoretische Befund, daß bei niedrigen Flüssigkeitstemperaturen von unterhalb 50 bis 60 °C mehr als 95% der übertragenden Wärme durch Konvektion an die Flüssigkeit abgegeben werden. Die durch Verdampfung verbrauchte Wärme ist also in erster Näherung vernachlässigbar.

Dieses Ergebnis erleichtert die weiteren theoretischen und experimentellen Untersuchungen. Sehr wohl hängt aber dieser konvektive Wärmeübergang vom Strömungsverhalten des Dampfes innerhalb der Dampfschicht ab. Andererseits zeigt die theoretische Analyse dieses Prozesses, daß bei hohen Flüssigkeitstemperaturen in der Nähe des Siedepunktes die übertragene Wärme fast ausschließlich zur Verdampfung der Flüssigkeit benötigt wird. Derartige Verhältnisse liegen in der Verdampfertechnik vor. Aus diesem unterschiedlichen Verhalten wird verständlich, warum die aus der Verdampfer- bzw. Kernreaktortechnik bekannten Gleichungen zur Beschreibung der Wärmeübertragung auf die Kühltechnik in den Werkstoffwissenschaften nicht anwendbar sind, obwohl in beiden Bereichen phänomenologisch die gleichen Vorgänge beobachtet werden.